

Final report

1.1 Project details

Project title	Solcelledrevet Komfortkøling
Project identification (program abbrev. and file)	EUDP J. nr. 64013-0134
Name of the programme which has funded the project	EUDP
Project managing company/institution (name and address)	Energinord A/S Over Bækken 6 9000 Aalborg Denmark
Project partners	Energinord A/S (nu Energi Energi A/S) Dansk Varmepumpe Industri A/S (DVI) Gaia Solar A/S Aalborg Universitet Seluxit Spar Nord Bank
CVR (central business register)	Xxxxxx gl. Nr. (MAP)
Date for submission	01-12-2016

1.2 Short description of project objective and results

1.2.1 Short description of project objective and results

The aim was to develop a solar-powered comfort cooling system where electricity produced by solar cells via a heat pump is converted to air-conditioning in the existing ventilation system, via a connected ice-storage. The control system ensures optimal energy storage to facilitate night cooling based on a thermodynamic building model.

The project result was a fully functional prototype that delivers the expected and needed amount of cooling to the facility. It is a reliable system that has not had any serious function errors. The prototype possesses further development potential, for instance concerning scalability of components, and more advanced control. Utilization of excess heat and future smart grid integration are subjects for further development.

1.2.2 Kort beskrivelse af projektmål og resultater

Formålet var at udvikle et solcelledrevet køleanlæg, hvor elektriciteten fra solcellerne via en varmepumpe omdannes til komfortkøling i det eksisterende ventilationssystem via en tilsluttet is-bank. Anlæggets styring sikrer optimal lagring af energi til natkøling på baggrund af en termodynamisk bygningsmodel.

Resultatet er blevet et fuldt funktionsdygtigt prototypeanlæg, der leverer den mængde køling, der var ønsket og dimensioneret efter samt er driftsmæssig stabilt uden væsentlige udfald. Anlægget besidder videreudviklingspotentialer, eksempelvis hvad angår skalerbarhed af komponenter samt mere avanceret styring. Udnyttelse af overskudsvarme og integration med det smarte elnet er områder med udviklingspotentialer.

1.3 Executive summary

Energinord og projektpartnerne har som formål haft til opgave at kombinere forskellige energiteknologier – varmepumper, solceller og lagring med et intelligent styresystem, der vil give den udviklede løsning en omkostningseffektiv komfortkøling af eksisterende kontor- og forretningsejendomme. Målgruppen er primært bygninger, der oplever udfordringer med overophedning – typisk på grund af sollys. Sekundært er målgruppen bygninger med kølingsbehov. Løsningen er primært udarbejdet til eksisterende ventilationsanlæg i bygninger men vil også kunne anvendes til nybyggeri. Prototypeanlægget er koblet til elnettet.

Moderne arkitektur og mange lavenergibygninger understøtter det menneskelige behov for dagslys med store glasfacader. Mangel på solafskærmning og en stigende mængde af teknisk apparaturer genererer store mængder varme, der i sidste ende påvirker indeklimaet. Derudover er stigende krav til energieffektivitet gennem lovgivningen tilmed en udfordring for bygherrer og rådgivere. For at løse dette problem og skabe en omkostningseffektiv løsning har Energinord indset behovet for at skabe et partnerskab med deltagere fra Aalborg Universitet og andre teknologiske virksomheder, der ville kunne løse opgaven i fællesskab.

Der er i partnerskabet udviklet et unikt soldrevet komfortkølingsanlæg, der driftsmæssigt er meget pålideligt og giver brugerne en optimal komfort, jf. udtalelse fra banken i Bilag 05.

Anlægget besidder videreudviklingspotentialer hvad angår energifleksibilitet, skalerbarhed og tilpasning til andre markeder. Endeligt tilvejebringer projektet et bindende svar fra SKAT vedr. afgiftsfritagelse for elektricitet produceret og forbrugt af anlægget på komfortkøling af kontorbygninger.

Partnerskabet forventer øget projektsalg som følge af projektet men har endnu ingen konkrete planer for at videreføre projektets resultater kommercielt.

1.4 Project objectives

1.4.1 Projekt mål

Formålet var at udvikle og demonstrere et solcelledrevet køleanlæg, hvor elektriciteten fra solcellerne via en varmepumpe omdannes til komfortkøling i et eksisterende ventilationssystem via en tilsluttet is-bank. Endvidere anvendes overskudsvarmen til opvarmning af brugsvand, og anlæggets styring sikrer, at der på baggrund af vejrudsigter lagres energi til at kunne køle om morgenen.

1.4.2 Projektets risici

Der har under hele projektet været en risiko for, at det ikke ville være muligt at udvikle et produkt som pålideligt kunne omsætte soleffekt til køling uden at gå på kompromis med anlæggets køle-COP og delkomponenternes levetid. Derfor har der løbende været fokus på energioptimering ved valg af delkomponenter og integrationen af disse under hensynstagen til at minimere risikoen ved ny-produktudviklingsaktiviteter. Balancen mellem produktudvikling og integration af kendt teknologi var således i fokus under hele forløbet for at opnå en succesfuld demonstration under hensynstagen til både budget og det ukendte markedspotentiale.

I ansøgningsfasen var det endvidere tydeligt, at komponentintegration og styring var afgørende for opfyldelse af projektets mål. Sparring mellem CISS og Seluxit blev således igangsat omkring styring og regulering.

Styregruppe og projektledelse vurderes således løbende at have forholdt sig til de på forhånd identificerede risici ved f.eks. identifikation af flere potentielle demonstrator-sites og tilpasning af tids- og ressourceplaner.

1.4.3 *Implementering af projekt*

Projektet udviklede sig overordnet set som forventet men blev forsinket af flere grunde. Alle udviklingsprojekter har et dybt indlejret element af uvidenhed og usikkerhed. Derfor har der også været uforudset drejninger i dette projekt. De fleste af udfordringerne i projektet var identificeret på forhånd som kendte risici og kunne håndteres pragmatisk gennem bl.a. ressource-reallokering og mindre justering af tidsplanen. God projektledelse, tydelig kommunikation og et overvejende ansvarsbevidst partnerskab var afgørende for succesfuld afværgelse af disse risici.

En uforudset udskiftning af demonstrator-site udgjorde en partnerskabsændring, som ikke på forhånd var identificeret som risiko og var således afgørende for forsinkelse af projektet. Denne forsinkelse gjorde det nødvendigt at udsætte testforløbet og desuden redesigne dele af demonstratoren.

Overordnet set vurderes projektet som succesfuldt, idet formålet er opfyldt til trods for relativt store uforudsete udfordringer.

1.4.4 *Oplevede projektet uforudsete forhindringer og ændringer?*

Et uforudset skift af demonstrator-site udgjorde en væsentlig årsag til ændringer og omprioritering i projektet. Konkret medførte det et andet udgangspunkt for dimensionering af komponenter og design af grænseflader samt en del spildt arbejde på planlægning og koordinering. Det lykkedes desværre ikke at finde en direkte erstatning, hvorfor overskudsvarmen fra demonstratoranlægget ikke udnyttes som ellers planlagt. Endvidere resulterede forsinkelsen i, at flere af partnerskabets deltagere fik andre forretningsmæssige fokusområder, mens projektet var på standby. Det forårsagede en vis træghed ved opstart på den ny demonstrator-site.

1.5 **Project results and dissemination of results**

Projektet i sin helhed vurderes at være en succes i forhold til målsætningen. Projektet er iht. planen afsluttet med et resultat, hvor konceptet er testet, valideret og dissemineret. Desuden er der udarbejdet en markedsanalyse, se Bilag 01, som udpeger flere interessante segmenter for afsætning af konceptet.

Testforløbet validerede konceptet og funktionaliteten af den udviklede demonstrator. Endvidere afslørede testforløbet væsentlige afvigelser mellem forventet og reelt kølebehov i forskellige vejrscenarier. Konkret var bygningens modellerede kølebehov baseret på worst case-betragtninger (højsommer), som viste sig kun at være en realitet ganske få uger under testforløbet. Til gengæld var modellerne i disse perioder meget præcise og anlægget derfor vel-dimensioneret til at kunne levere den fornødne køling af bygningen. Uden for spidsbelastningerne anvendes den producerede elektricitet derfor mere fordelagtigt til andre formål end komfortkøling. Den kommercielle værdi af anlægget og det markeds-mæssige fokus for projektet ændrede sig således under projektforløbet. Dette komplicerede cost-benefit-beregningerne og havde tilmed en negativ indvirkning på de beregnede tilbagebetalingstider.

Markedsanalysen er fulgt op af en interviewrække med udvalgte virksomheder med henblik på at identificere markeder med størst potentiale. Affødt af et forretningsmæssigt fokusskifte hos flere i partnerskabet i projektets løbetid er der dog ikke basis for at videreføre projektets resultater i samme partnerskab.

Enkelte partnere i partnerskabet vurderer, at projektets resultater fremadrettet kan danne grundlag for øget produktudvikling og/eller projektsalg. Der foreligger p.t. ikke en forretningsplan for at videreføre projektets resultater, og projektets partnere kan derfor ved projektets slutning endnu ikke registrere øget omsætning eller medarbejderstab.

I de følgende afsnit gennemgås resultater frembragt i de enkelte arbejds-pakker.

1.5.1 *Projektledelse og formidling (WP1)*

Alle arbejdsplaner er startet gennem workshops, hvor vi nærmere har defineret indholdet. Alle har deltaget med stor entusiasme, og det, at alle har været med til at definere indholdet, har gjort, at der har været en god arbejdsindsats i de enkelte arbejdsplaner.

Gennem workshops har vi i fællesskab defineret det endelige indhold af arbejdsplanerne og afklaret ressourcer og kompetencer til at løse de enkelte delelementer. På denne måde er der skabt relativ stor medindflydelse på, hvilke opgaver der skulle løses af de enkelte deltagere. Processen har givet hver enkelt projektdeltager en god motivation for at løse de konkrete opgaver.

Gennem de første arbejdsplaner har fokus været at etablere state-of-the-art gennem afsøgning af, hvad andre projekter har lavet og den eksisterende viden i partnerskabet og dets netværk. De meget velfunderede kompetencer, som partnerskabets deltagere besidder, har været en succesfaktor, som gennemgående i projektet har sikret en bred og relevant faglighed. Tilmed har de enkelte projektdeltagere været gode til intern vidensdeling, og vi har samlet set fået en god løsning ud af samarbejdet og projektet.

Formidling af projektet internt i projektet er sket gennem åben og bred kommunikation af referater fra arbejdsplaner, workshops m.v. Således har der gennem hele projektet været kommunikeret bredt til alle deltagere om projektets fremdrift, udfordringer, ændringer og delresultater.

Ekstern formidling af projektet er sket dels gennem de muligheder, vi har fået gennem de indledende faser i projektet og de enkelte partners netværk. Projektet er bl.a. formidlet gennem artikler i både Nordjyske Stiftstidende og Jyllands-Posten, se hhv. Bilag 07 og Bilag 08. Endvidere blev der afholdt et åbent hus-arrangement hos Spar Nord Bank A/S (Spar Nord Bank), hvor vi, foruden bred annoncering, har inviteret interessenter til projektet.

Projektet er desuden formidlet i forskellige videnskabelige kredse. Bl.a. er der skrevet en videnskabeligt artikel til Clima 2016-konferencen i Aalborg i foråret 2016, hvor denne også blev præsenteret af CISS, se Bilag 09. Ligeledes er CISS inviteret til at præsentere projektets resultater ved Danvak-konference i 2017. DVI har desuden formidlet projektet gennem præsentation ved interessegruppemøder ved House of Energy; et partnerskab mellem BusinessAalborg, Hydrogen Valley, Aalborg Universitet og NordDanmarks EU-kontor.

Endeligt indgår projektet som en case for fleksibelt elforbrug i projektet TotalFlex og forventes ligeledes anvendt som case for videre forskning i energifleksibilitet og optimering i regi af forskningsprojektet DiCyPS.

1.5.2 Koncept- og kravspecifikation (WP2)

Gennem arbejde med koncept- og kravspecifikation er grundlaget for efterfølgende arbejds-pakker etableret. Overordnet er formålet at identificere og indsamle detaljeret viden inden for centrale teknologier og etablere state-of-the-art. Dernæst er der arbejdet intensivt med kravspecifikation og design af demonstratoranlægget.

I efterfølgende afsnit gennemgås de opnåede resultater for områderne off-grid og nettilslutning, køleteknik, anlægsskallering, skat og afgifter samt relateret forskning.

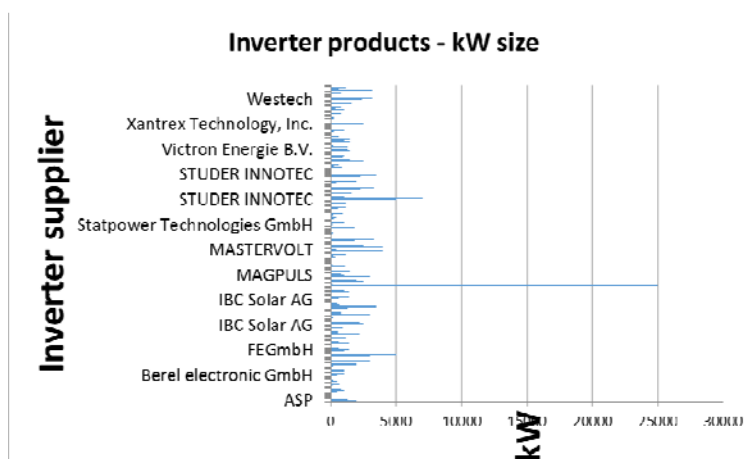
1.5.2.1 Off-grid og nettilslutning

En række krav er identificeret som følge af potentiel ø-drift af anlægget, hvorfor forskellige løsningsforslag er vurderet. En oversigt ses i nedenstående tabel.

	Central Inverter charger	Inverter charger cluster	Inverter + Batterilader
Formål	Konvertering af solcellestrøm og batteriopladning foregår i PV charger controlleren	Konvertering af solcellestrøm og batteriopladning foregår i PV charger controlleren, hvor flere er forbundet for at opnå højere effekt	Konvertering af solcellestrøm foregår i inverteren. Batteriopladning foregår i batteriladeren
Skalerbarhed	Begrænset til maksimum effekt på central charge controller.	Kan skalleres	Kan skalleres
Tilgængelighed	Effekt på inverter er typisk på mellem 250 watt til 6kWp, og enkelte leverandører tilbyder højere effekt op til 25kWp		
Eksempel på producent	Størstedelen af leverandører	Nedap Powerrouter	SMA

Løsningsforslaget Inverter/Charge controller cluster giver mest skalerbarhed og bedre dimensionering af batteristørrelse i forhold til solcelleproduktion.

For at identificere leverandører er der udarbejdet en leverandøranalyse med fokus på inverter-størrelse. Resultatet heraf er præsenteret i Figur 1. Bemærk, at flere leverandører har flere produkter.



Figur 1 - Leverandøranalyse for PV Inverter

Et elproducerende anlæg skal overholde det europæiske EMC-direktiv, stærkstrømsbekendtgørelsen og figurere på en positivliste hos Energinet.dk.

Hvis EMC-direktivet ikke indeholder specifikke produktkrav, skal de generiske krav i henhold til EN50438, afsnit 5.1, overholdes. Alternativt kan krav jf. VDE-AR-N 4105 anvendes for elproducerende anlæg, som nettilsluttes via vekselrettere.

Desuden er der identificeret en række tekniske krav, som det udviklede anlæg skal overholde ved både normal drift og fejl. Disse er beskrevet i stærkstrømsbekendtgørelsen, se <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=25862>.

Anlægget skal kunne behandle følgende fejlsituationer:

- Afbrydelse af strømkredsen
- Kortslutning i strømkredsen
- Overbelastning i strømkredsen
- Forstyrrelser på det offentlige net

Så længe en inverter figurerer på positivlisten hos Energinet.dk, skal inverteren tilsluttes efter almindeligt gældende krav for elektriske installationer. Såfremt en inverter ikke figurerer på positivlisten hos Energinet.dk, skal der ansøges hos Energinet.dk

1.5.2.2 Køleteknik

Det udviklede demonstratoranlæg gør brug af en varmepumpe, hvor kompressoren er langt den afgørende komponent i samspil med de resterende elementer i anlægget – eksempelvis påvirkes dimensionering af både batteri og is-bank af kompressorvalg. I en varmepumpe er kompressoren desuden afgørende for arbejdsområde, ydelse og Coefficient of Performance (COP). Antallet af potentielt anvendelige kompressorer reduceres kraftigt grundet samspillet med solceller, hvorfor følgende specifikke krav til kompressorens ydeevne er opstillet:

- Skal kunne omdrejningsreguleres
- Skal kunne aftage elektrisk effekt svarende til forventet peak-produktion fra PV-anlægget
- Skal have højest isentropisk virkningsgrad i laveste halvdel af sit indsatsområde
- Skal kunne arbejde med fordampningstemperaturer på ned til -7°C
- Skal kunne tåle flukturerende produktionsmønstre med mange start/stop
- Skal benytte et velkendt og internationalt accepteret kølemiddel

Ud fra en grundig analyse anvendes Danfoss VZH-serien i dette projekt. Det skyldes det store reguleringsområde på 1500-6000 rpm samt det faktum, at virkningsgraden for kompressoren er betydeligt bedre end andre relevante kompressormodeller.

1.5.2.3 Anlægsskalering

Anlægget skal dimensioneres og skaleres efter bygningens kølebehov. Der er således ikke nogen one size. Derfor er der udarbejdet en simpel model for estimering af kølebehov på baggrund af opmåling af bygningen. Opmålingen inkluderer bygningens samlede rumvolumen samt en vurdering af faste bygningsdele og anvendelse. Kølebehovet er således opgjort ud fra følgende elementer:

- Varmebelastning gennem ruder
- Diffus himmelstråling
- Varmetransmission gennem klimaskærm
- Belysning
- Arbejdspladser
- Personer
- Bygningens samlede isoleringsevne
- Rumvolumen

Modellen tager udgangspunkt i følgende antagelser:

- Rudearealet er opmålt for henholdsvis øst- og vestfacaden. Arealet for vestfacaden ligger til grund for beregningen. Varmebelastningen er sat til 550 W/m^2 (jf. ventilationsståbi kap. 6).
- Diffus himmelstråling er sat til 32 W/m^2 rudeareal (jf. ventilationsståbi kap. 6).

- Varmetransmission gennem klimaskærm ved overtemperatur ude i forhold til rumtemperatur er beregnet efter formel i ventilationsståbi kap. 6 (6.3.1).
- Belysningsarmaturerne er optalt for hver etage og forudsættes tændt i hele brugstiden.
- Arbejdspladserne består overvejende af 2 fladskærme og enten en bærbar eller stationær PC. Der er i alt 64 arbejdspladser med en gennemsnitseffekt pr. arbejdsplads på 143 W.
- Personbelastningen er talmæssigt svarende til antal arbejdspladser og sat til 102 W/person med stillesiddende arbejde (ventilationsståbi kap. 7).

1.5.2.4 Relateret forskning

At udnytte solens energi til køling er ikke et nyt koncept, og der findes derfor et solidt grundlag af forskning på området. Grundlæggende er der to metoder til køling ved hjælp af solenergi:

- Rent termisk, eller
- Kombineret elektrisk køleanlæg

Den ene er et rent termisk system, mens den anden omsætter solenergien til elektricitet, som udnyttes i et kølesystem. Der er i WP2 foretaget informationssøgning med formålet at redegøre for fremtiden for disse to typer af kølesystemer.

De fleste baggrundsartikler kommer med konklusioner i samme retning, og det giver derfor ikke mening at gennemgå hver enkelt artikel. Nedenfor listes den samlede hovedkonklusion.

- I øjeblikket er elektriske og termiske løsninger konkurrencedygtige i forhold til ydelse og pris.
- Elektriske solceller forventes at falde i pris og stige i effektivitet i fremtiden, mens solfangere til væskeopvarmning ikke forventes en tilsvarende stigning i effektivitet. Dermed forventes elektriske løsninger at blive mere kosteffektive og på sigt at udkonkurrere termiske løsninger.
- Elektriske løsninger kræver generelt et mindre areal til solceller end en tilsvarende termisk løsning. Nogle artikler anslår helt ned til 50 % mindre areal.
- Med henblik på pris og batteripakke skal kølebehovet helst peake inden for 2-3 timer af solindstrålingen.
- Elektriske systemer har generelt lavere CO₂-udslip end termiske systemer. Dette skyldes primært en højere COP i kølekredsen.

1.5.2.5 Skat og afgifter

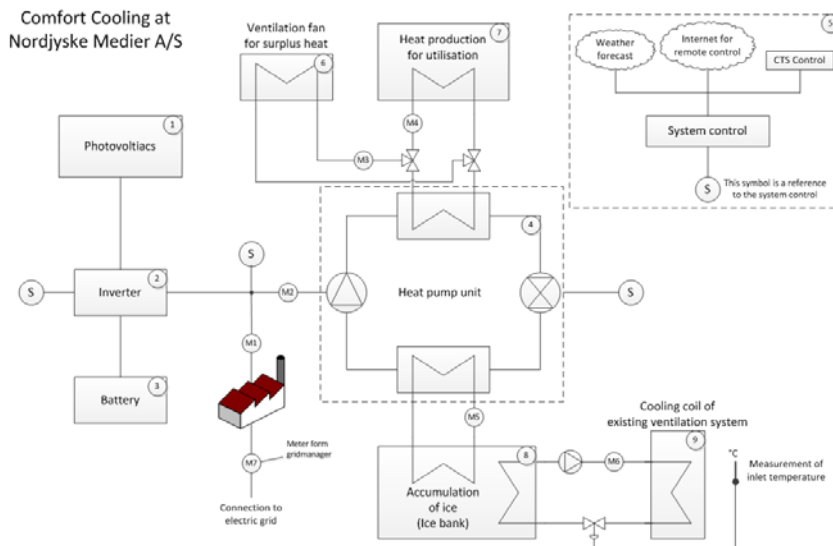
I WP2 er der endeligt arbejdet med at identificere og afklare relaterede beskatnings- og afgiftsregler. Formålet har været at undersøge, hvordan reglerne om afgiftsfritagelse tolkes i det konkrete scenarie. SKAT er således anmodet om bindende svar i forbindelse med at drive komfortkøling i DK, der er beskrevet 3 scenarier.

For alle 3 scenarier er der opnået bindende svar fra SKAT om afgiftsfritagelse på den strøm, der forbruges til komfortkøling – under følgende betingelser:

1. Elektriciteten skal produceres ved vedvarende energi.
2. Der skal være tale om direkte eget forbrug, der ikke leveres til det kollektive net – dog kan der søges om timeafregning hos Energinet.dk.
3. Elektriciteten skal forbruges af producenten – der skal være tale om samme juridiske enhed.

De 3 scenarier er beskrevet nedenfor, se desuden det bindende svar i Bilag 06.

Scenarie 1



Solcelleanlæg og varmepumpeanlæg er opbygget som på Figur 1.

Anlægget drives som \emptyset -drift (det vil sige, at der ikke er forbindelse med det offentlige forsyningsnettet på noget tidspunkt), og varmepumpen leverer komfortkøling og rumopvarmning til kontorhusets lokaler.

Scenarie 2

Anlægget drives som \emptyset -drift i perioder, hvor varmepumpen leverer komfortkøling og rumopvarmning til kontorhusets lokaler. I de perioder, hvor der ikke er behov for varmepumpe, afbrydes den elektriske forbindelse fra solcelleanlægget til varmepumpe, og solcelleanlægget tilsluttes kontorhusets almindelige elinstallation og drives som almindelig solcelleanlæg, hvor elproduktionen anvendes til belysning, edb m.m. Der etableres et relæ, der vælger enten varmepumpen eller virksomhedens interne forbrug og derefter videre ud på forsyningsnettet, hvis ikke virksomheden kan udnytte den selv.

Scenarie 3

I perioder er solcelleanlæggets produktion større end varmepumpens elforbrug. Eksempel: Solcelleanlægget producerer 30 kW, og varmepumpen forbruger 20 kW. De resterende 10 kW leveres til kontorhusets elinstallation og forbruges i kontorhuset til lys, edb osv. eller til forsyningsnettet. Sammenkoblingen af solcelleanlæg, varmepumpe og bygningens elinstallation betyder, at der er sandsynlighed for, at der anvendes indkøbt el til varmepumpe. Opgørelse af elforbruget fra indkøbt el til varmepumpe opgøres via måler M1, der bliver en afgiftsbimåler. Elfbrug registreret på denne måler afregnes efter afgiftssats for komfortkøl/rumvarme.

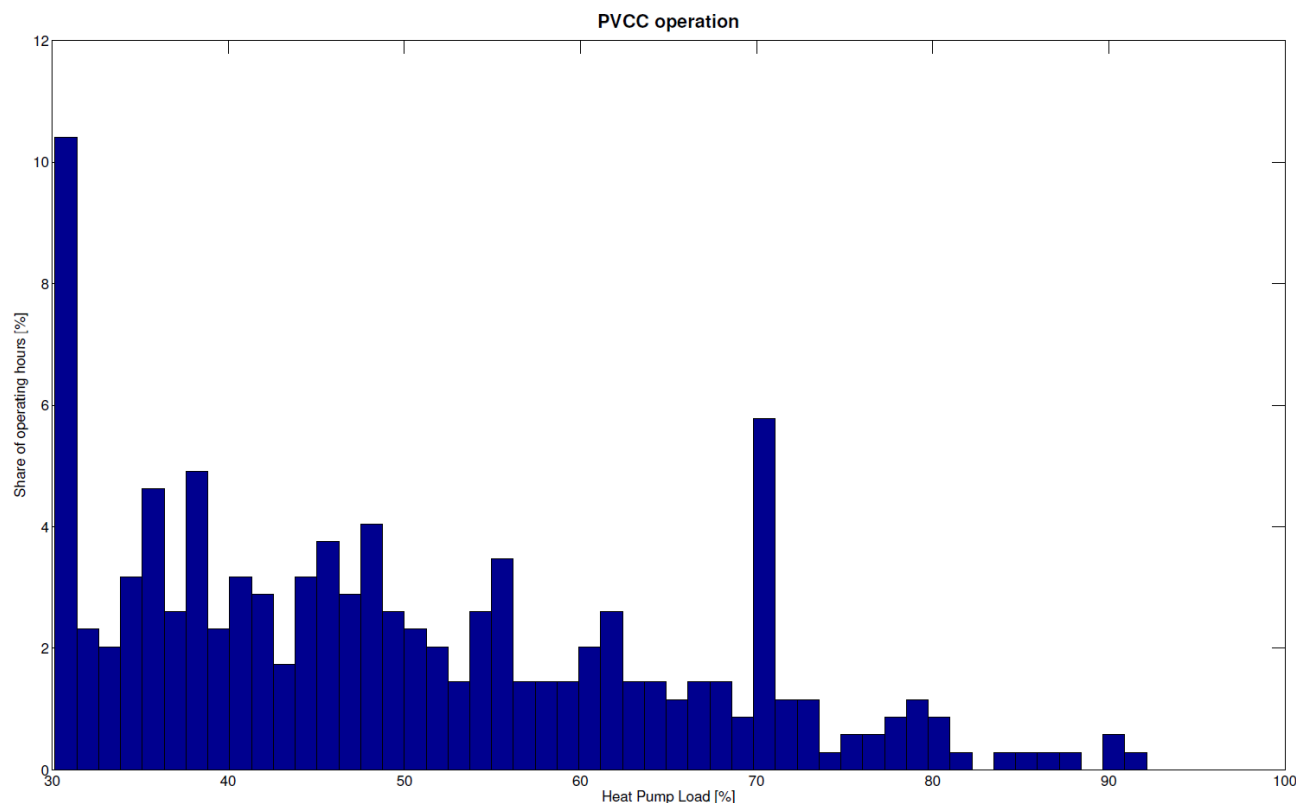
1.5.3 Udvikling af prototype (WP3)

Udvikling af prototypen har taget udgangspunkt i kendt teknologi og delvist kendte produkter. Prototypen er udviklet som en kombination af flere elementer; varmepumpe, is-bank, solceller og inverter, hvoraf de væsentlige for konceptet er is-bank og varmepumpe. Foruden disse indgår i prototypen en controller og dertilhørende sensorer og aktuatorer. Prototypeanlæggets delkomponenter er dimensioneret ud fra en overordnet 2. ordens termodynamisk energimodel af bygningen. Modellen tager udgangspunkt i den statiske model opstillet i WP2 samt historisk data fra PV-anlæg hos Institut for Energiteknik ved Aalborg Universitet samt bygningens bestanddele og isoleringsevne. Således er flere af kandidatbygningerne til demonstratorsite modelleret forud for den endelige demonstrator hos Spar Nord Bank. Modellen er anvendt til at estimere bygningens kølebehov, hvoraf is-bankens størrelse og krav til varmepumpens effekt blev udledt.

Der blev valgt at arbejde med et for DVI kendt teknologifelt, da hovedformålet ikke er at udvikle ny varmepumpeteknologi. Af særlige komponenter, som er specielt for dette projekt, er scroll-kompressoren til det traditionelle HFC-kølemiddel R410A. Scroll-kompressoren udmærker sig ved at have et stort effektreguleringsområde, da kompressoren er udviklet til netop frekvensregulering. Der er meget begrænsede muligheder for anskaffelse af scroll-kompressorer til frekvensregulering i denne mellemstørrelse. Kompressorens effektoptag er afstemt med PV-anlæggets peak output, således at kun nogle få procent ikke kan nyttiggøres i kompressoren de timer om året, hvor PV-anlægget har peak output. For maksimal fleksibilitet er anlægget opbygget med brinetilslutning til både is-bank og tørkøler. Dette kunne med stor fordel have været udført med direkte fordampning og kondensering i en kompakt enhed. Derved er der et videreudviklingspotentiale, hvor fokus kunne være besparelser på både hovedkomponenter og installationen i bygningen.

1.5.3.1 Fordele ved et mindre anlæg

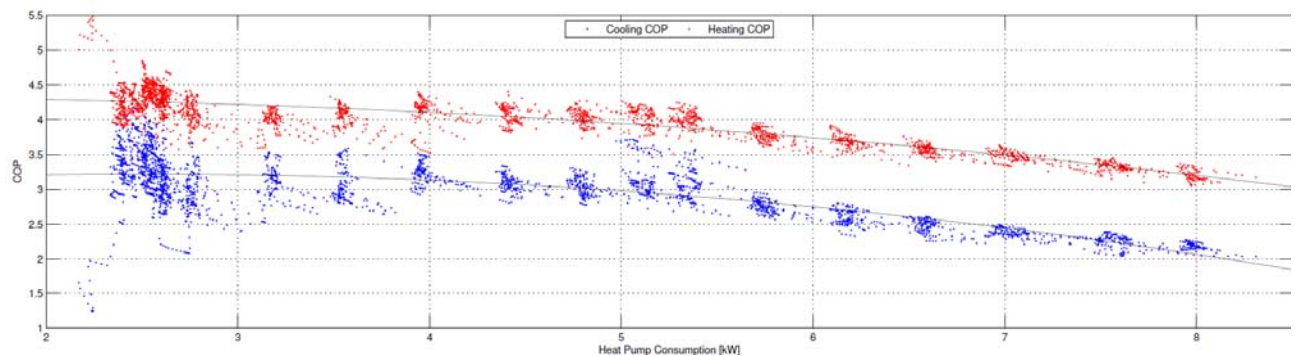
Diagrammet nedenfor viser, at belastningen sjældent er over 80 % under normal drift. Et kvalificeret gæt er således, at varmepumpen godt kunne være 25-30 % mindre med et i øvrigt uændret system. Det vil give den fordel, at varmepumpen kan startes ved en lavere ydelse fra PV-anlægget og derved kunne lagre kulde ved lavere solindstråling uafhængig af elnettet.



III. På diagrammet ses, at varmepumpen stort set ikke har driftstimer med over 80 % belastning. Varmepumpen kunne principielt have været dimensioneret til en mindre størrelse. Fordelen vil være, at varmepumpen kan startes ved lavere ydelse fra PV-anlægget. Dog skal man være opmærksom på, at COP ved høj ydelse er betydeligt ringere end ved 80 % ydelse, se i øvrigt diagram nedenfor.

Anlæggets systemeffektivitet har vist sig at være betydeligt ringere ved høj effekt og bedst ved laveste effekt. Der er primært tre årsager til dette.

- 1) Scrollkompressorer har typisk ringere effektivitet i effektoptagets yderområde.
- 2) Temperaturen frem til i tørkøleren i det fri stiger når varmeeffekten som skal blæses af stiger, med ringere effektivitet til følge.
- 3) Is-bankens varmeveksler bliver ligeledes belastet når effekten stiger, det betyder at brinetemperaturen frem til is-banken falder, med ringere effektivitet til følge.



III. Af illustrationens punktskyer ses der tydeligt, at det samlede anlægs energieffektivitet afhænger kraftigt af kompressorens effektoptag. Ved 3 kWe køle-COP 3,2 (EER) og til sammenligning ved 8 kWe køle-COP 2,2 (EER).

Controller og kontrolalgoritmer er udviklet efter konceptet modelbaseret udvikling med udgangspunkt i den overordnede energimodel suppleret med mere detaljerede modeller af de enkelte delkomponenter; is-bank, PV-anlæg og varmepumpe. Således var simulering af anlæggets virkemåde mulig inden idriftsættelse og allerede i den indledende udviklingsfase, blev kontrolstrategien forfinet gennem simulering. Controlleren er fysisk implementeret på en embedded Linux DIN-skinne controller og kodegenereret fra Matlab/Simulink®.

Controllerprototypen er beskrevet yderligere i artiklen 'Preliminary Report: Controller Prototyping and Validation for Photo-Voltaic Comfort Cooling, Mads Kronborg Agesen, Arne Joachim Skou, Keld Lotzfeldt Pedersen. CLIMA 2016: proceedings of the 12th REHVA World Congress, 22-25 May 2016, Aalborg, Denmark.

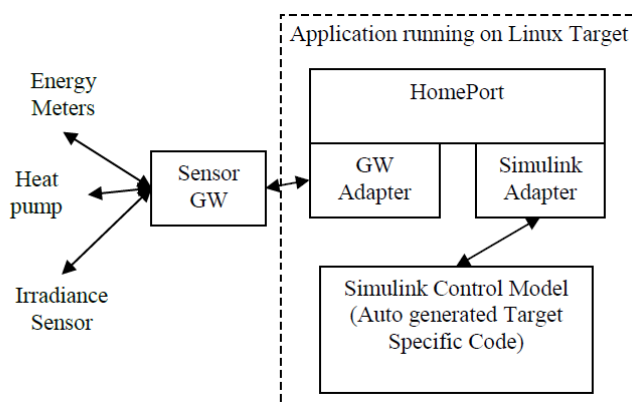
I den sidste fase af projektet blev der hos DVI sideløbende arbejdet med en implementering af controlleren i deres eksisterende varmepumpestyring. Beklageligvis blev denne proces fra start vanskeliggjort, da DVI's controller ikke var klar til implementering, hovedsageligt grundet utilstrækkeligt udviklet styrings- og overvågningssoftware og -hardware. Det blev derfor nødvendigt, at DVI arbejdede med den platform, som PVCC-controlleren skulle implementeres på. Da udfordringerne var uigennemskuelige grundet hardwarefejl i nogle printserier, der fik kommunikationen til at svigte, lykkedes det ikke at få implementeret PVCC-controlleren på DVI's standardstyringer inden for projektets tidsrammer.

1.5.4 Forskning og udvikling af kontrolsystem (WP4)

For at validere kontrolsystemet inden ibrugtagning er der udviklet modeller af de vigtigste bestanddele: Inverteren følger en statisk afbildning fra soludstråling til strøm; varmepumpen følger en statisk, ikke-lineær afbildning fra kompressor-hastighed til strømforbrug og køling-energi; varmeudvekslingen er en del af en standard, første ordens bygningsmodel; for at verificere det samlede systems funktionalitet er is-bank-modellen en første ordens-overførselsfunktion fra kølingenergi til is-bankens kapacitet – under antagelse af temperatur-mætning omkring nul grader under uniform isdannelse.

Controlleren til systemet er udviklet gennem en modelbaseret tilgang ved hjælp af Simulink®-modeller på to niveauer. Den initiale model er udviklet for at verificere kontrolstrategier og har til formål at sikre kommunikation mellem projektpartnerne og samtidig indeholde en modellering af hver større systemkomponent. Efterfølgende blev mere detaljerede modeller tilføjet for de enkelte kontrolalgoritmer.

Kontrolalgoritmerne er implementeret direkte i Simulink-modellen, hvorfor kodegenerering direkte fra modellen udgør et væsentligt forskningsbidrag til løsningen. Den konkrete implementering af controlleren er realiseret gennem anvendelse af det AAU-udviklede HomePort som interface mellem aktuatorer, sensorer og kodegenereret controller.



Figur 2 - Realisering af kontrolstrategier gennem anvendelse af HomePort og Simulink

Således har projektet bidraget til forskning i en komplet toolchain til prototyping, simulering og realisering af kontrolstrategier. Flere detaljer kan ses i artiklen 'Preliminary Report: Controller Prototyping and Validation for Photo-Voltaic Comfort Cooling, Mads Kronborg Agesen, Arne Joachim Skou, Keld Lotzfeldt Pedersen. CLIMA 2016: proceedings of the 12th REHVA World Congress, 22-25 May 2016, Aalborg, Denmark.

Artiklen er desuden at finde i Bilag 09.

1.5.5 Teknologintegration og demonstration (WP5)

Demonstratoranlægget kombinerer flere teknologier, herunder varmepumpe-, energilagrings- og solcelleteknologi. Integration af komponenter og teknologier, samt en økonomisk betragtning på det udviklede demonstratoranlæg, er præsenteret i de følgende afsnit. Der henvises desuden til PI-diagram i Bilag 04 samt supplerende billeder i Bilag 10.

1.5.5.1 Installation af solceller

Installation og integration af solcelleanlæg er forløbet planmæssigt. Arbejdet har inkluderet montage og installation af solcelleanlæg, invertere, kabling og etablering af web interface. Den oprindelige projektering inkluderede etablering af ø-driftsanlæg, hvilket dog blev fra-valgt, da der ikke viste sig at være behov herfor. I forhold til design og projektering skal det bemærkes, at der er valgt et øst/vest-ventd solcelleanlæg med henblik på at sikre en mere jævn elproduktion henover døgnet. Dertil kommer, at der er mindre problemer med vindlast og at systemet anvender mindre plads på taget og udgør dermed samlet set en reduceret belastning af taget. I forbindelse med projektering af PV-anlæg og dialog med Spar Nord Bank herom, viste det sig – på baggrund af statistiske beregninger – at taget havde behov for at blive forstærket på trods af den ellers lave vægt.



Allerede inden projektets opstart havde Spar Nord Bank afsat ressourcer til isolering og forbedring af tag, hvilket betød, at dette arbejde først skulle udføres, før vi kunne gå i gang med solcelleenterprisen. Arbejdet med solcelledelen af løsningen har udover projektering, beregning og design bl.a. inkluderet:

- Lægge gummifødder til sten
- Samle montagesystem
- Montere og koble solcellepaneler
- Placere ballaststen
- Forlænge gitterbakke til føringsvej
- Trække kabler fra PV-system til depotrum
- Fastgøre lyssensor på stenblok
- Kabling af rs484 interface til webbox
- Finde strømforsyning til sensor
- Kabling fra inverter til router og router til webbox
- Opsætning af webbox og tilslutning til internet via router
- Test af solcellepaneler inden tilslutning

I relation til solcelleanlægget har underentreprenør Ib Andersen udført følgende:

- Hovedforsyning
- Kabelbakke til indkommende kabler til inverter
- Kabelbakke til indkommende kabler til undertavle

1.5.5.2 Integration af solceller med øvrige komponenter

I relation til integration af solcellerne med det øvrige system skal det bemærkes følgende:

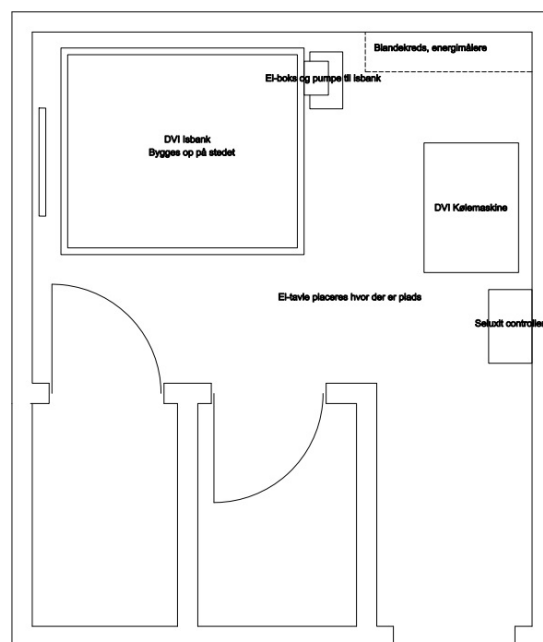
- Valg af PFI/HPFI-relæerne er sket pga. sikkerhedskrav og primært, fordi alle komponenterne er forbundet internt med hinanden og ikke direkte op mod elnettet.
- Afbrydelse til varmepumpen kan gøres via den programbare load shedding-kontakt, som er indbygget i multicluster-boksen (som afkobler loads, når invertere/batteriladere ikke kan give nok effekt i ø-drift). Dog, hvis DVI af andre årsager gerne vil have en manuel afbrydelse, skal vi have en separat afbryder.
- Afbrydelse på generatorsiden er til for at simulere ø-drift. SMA har ikke godkendt systemet til at levere strøm ind på elnettet. Derfor er systemet kun til det formål at drive varmepumpe og andet forbrug, som tilsluttes load-siden.

1.5.5.3 Integration af is-bank, tørkøler og varmepumpe

Installation af PVCC-konceptets is-bank, tørkøler og varmepumpe forløb som planlagt. Installationen af is-banken i kælderrummet var besværliggjort af den fysiske størrelse på is-banken, som ikke tillod at samle is-banken på fabrik som normalt, men derimod måtte samles på stedet med et højt tidsforbrug til følge. Med det nuværende koncept må det forventes at forekomme hyppigt, da is-bankens bredde er 100 cm. Hvis produktet havde været egnet til montage udendørs havde det gjort installationen betydeligt mere simpel.

Med den måde anlægget er opbygget, er service ligetil. Anlægget er overskueligt, hvis man forstår grundopbygningen med en række hovedkomponenter, som fungerer stort set uafhængigt af hinanden. Dog med fælles overordnet styring. Det gør, at anlægget kan fejlsøges med eksisterende faggrupper som f.eks. elektriker, kølemontør og VVS-installatør.

Den installerede prototype fungerer i praksis og køler kontorfaciliteterne som ønsket. Anlægget skal derfor kun vedligeholdes som andre tekniske anlæg med tilsvarende komponenter. Såfremt PVCC-konceptet udvikler sig efter endt projekt, vil det evt. kunne være hensigtsmæssigt at udskifte styringen til en ny standardudgave. Det bør derfor være tilstrækkeligt at udskifte komponenter, der naturligt vil svigte i anlæggets levetid.



Plantegning
Sper Nord Hadsund
Rev. 1
Mads Hougaard, DVI

Anlæggets effektivitet, kaldet EER (Energy Efficiency Ratio – i øvrigt også benævnt køle COP), er 2,9, hvilket er fornuftigt. Særligt for et anlæg drevet stort set 100 % af et PV-anlæg. Effektiviteten og business casen kan forbedres ved udvikling som et produkt med fælles kølekreds, således at is-bank, varmepumpe og luftkølet kondensator smelter sammen til et produkt. Det vil teoretisk kunne hæve effektiviteten.

1.5.5.4 Generel økonomisk betragtning

På baggrund af måledata fra Spar Nord Bank synliggøres det, at anlægget har en god driftsøkonomi. Den gode driftsøkonomi er dog ikke tilstrækkelig til at få den overordnede økonomi i installationen til at være inden for de normale 5-10 års tilbagebetalingstid. Dette ses af nedenstående skema. Såfremt anlægget rationaliseres og teknisk tilpasses behovet, vil et anlæg for 600.000 kr. have disse specifikationer. I nedenstående forudsættes, at al produceret elektricitet fra PV-anlæg omsættes til køling.

- PV-anlæg 20 kW peak
- Varmepumpe 75 kW køl og 100 kW varme
- Is-bank 300 kWh

75 kW køl

Merinvestering [kr.]*	350.000
Besparelse [kr.]	28.000
Tilbagebetalingstid [år]	13

75 kW køl og 50 % varmegenvinding**

Merinvestering [kr.]*	375.000
Besparelse [kr.]	48.000
Tilbagebetalingstid [år]	8

75 kW køl og 100 % varmegenvinding**

Merinvestering [kr.]*	375.000
Besparelse [kr.]	68.000
Tilbagebetalingstid [år]	6

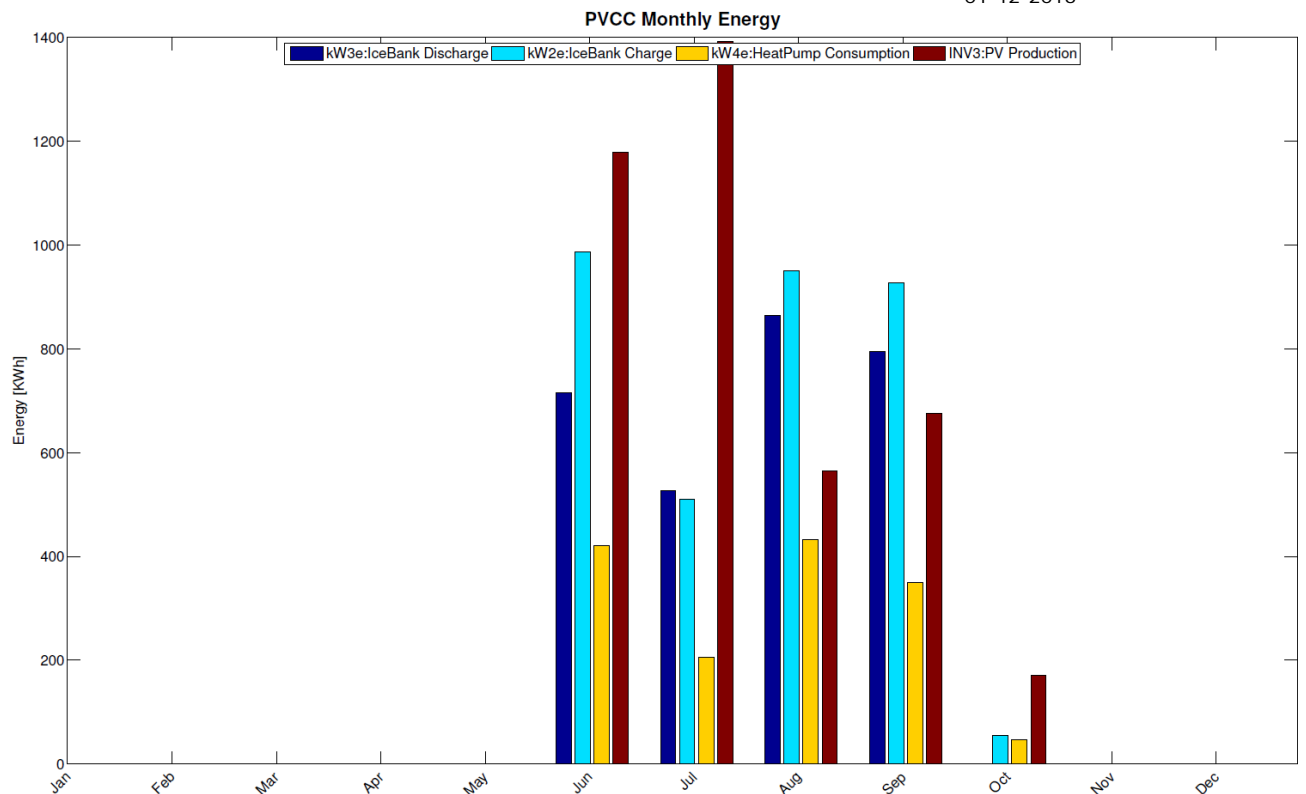
*Det forudsættes, at der enten installeres standardluftkølet vandkøler (250.000 kr.) eller PVCC-konceptet. Merinvestering er prisforskellen på disse.

**erstatte naturgas.

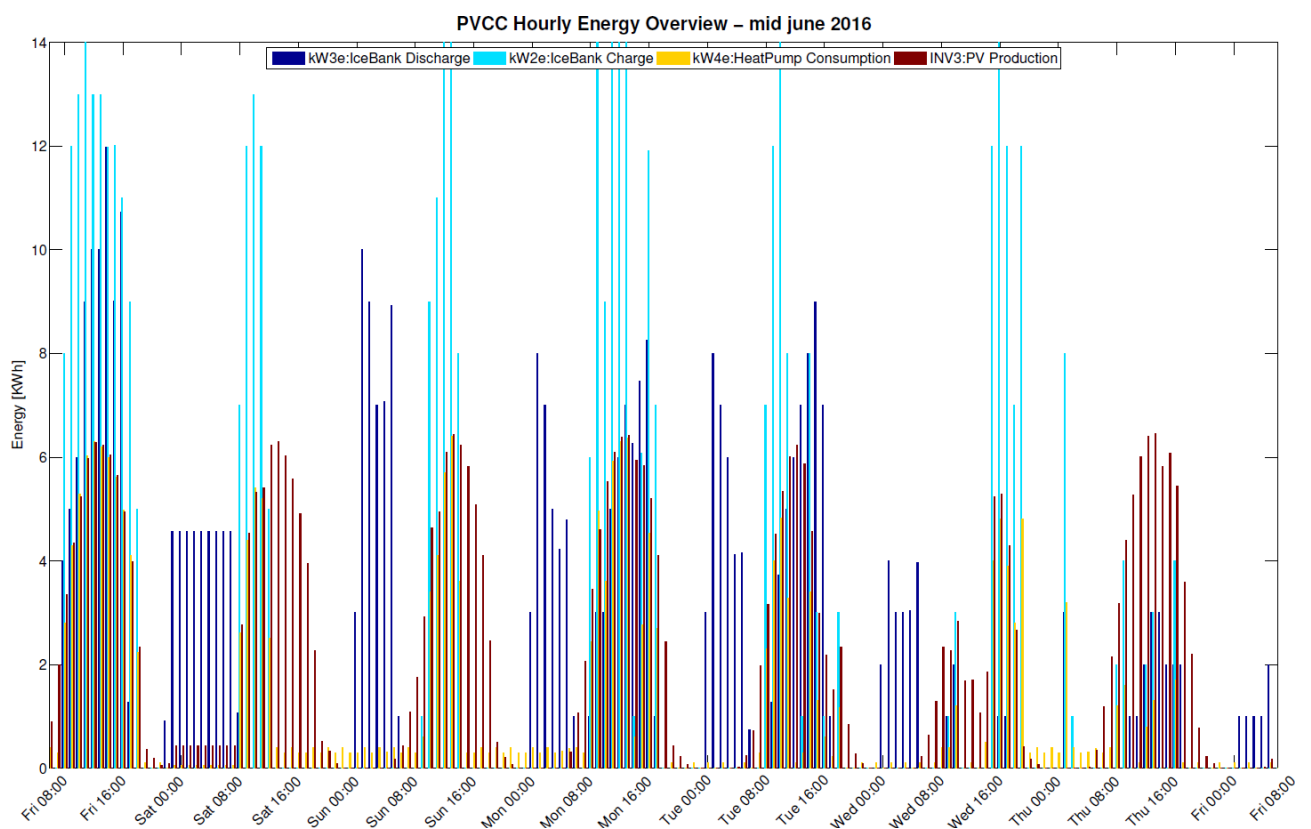
Økonomien i anlægget er meget afhængig af ydre forhold som f.eks. kølebehov, solindstråling og varmeandel, som kan nyttiggøres. Derudover er der de økonomiske og politiske forhold omkring elpriser og øvrige energipriser samt afgiftsforhold. Mindre betydende er driftsbetingelserne (temperatur på kølevand og udetemperatur), da disse vil være fælles, uanset om der vælges standardkøleanlæg eller PVCC-konceptet.

1.5.5.5 Økonomien i det opførte demonstrationsprojekt

I demonstrationsanlægget i Spar Nord Bank, Hadsund blev kun en mindre del af den producerede strøm anvendt til køleformål. Resten formodes at have indgået i bygningens almindelige elforbrug. Kølebehovet har vist sig i praksis at være begrænset til, at der i varmepumpen er nyttiggjort 2.028 kWh el fra solcellerne i perioden 1. juni-30. september. Med en elpris på 1,50 kr./kWh ex. moms giver det en besparelse på 3.042 kr./år ift. køb af strøm fra elnettet. Man kan derfor argumentere for, at investeringen i det tekniske anlæg ikke står mål med de begrænsede besparelser, som er opnået. Udfordringen er tydeligvis, at kølebehovet er for lille. Derfor vil der skulle søges efter kunder med et større kølebehov.



Figur 3. Røde søjler viser solcelleproduktion [kWh], og gule søjler er optaget el [kWh] i varmepumpen. Juli er en testperiode med kun én uges drift af varmepumpen. Data er renset for dette i de øvrige beregninger.



Figur 4. Timeværdier for PV-anlægs elproduktion, varmepumpens eloptag samt op- og afladning af is-banken.

Med demonstrationsprojektet har partnerskabet til gengæld påvist, at det kan lade sig gøre at drive et køleanlæg uafhængigt af elnettets evt. spidsbelastninger. En påvisning, som er et

skridt i den rigtige retning i forhold til at begrænse negative konsekvenser af den øgede mængde fluktuerende elproduktion fra solceller og vindmøller. Tænkes projektet videre til infrastrukturniveau, giver teknologien mulighed for energilagring af kulde, med vand/is som lagringsmedie – tilsvarende elektriske batterier samt varmebuffertanke og damlagre. I takt med at teknologien udvikler sig, og afgiftssystemet tilpasses et politisk ønske om grøn omstilling, vil det over tid give mulighed for, at den altid afgørende økonomi vil blive attraktiv i forhold til konventionelle teknologier.

1.5.6 Test (WP6)

Det udviklede demonstratoranlæg er testet på flere niveauer. Før integration af delkomponenter og udførelse af Site Acceptance Test (SAT) på hele demonstratoranlægget er der foretaget Factory Acceptance Test (FAT) på komponentniveau. Indledningsvist under SAT, er der udført I/O-test for at sikre problemfri integration af de enkelte delkomponenter.

Den agile og modelbaserede tilgang til udvikling af controlleren, gjorde det muligt at kombinere idriftsættelse, test og optimering on-site på det kørende system. SAT er derfor foretaget løbende under idriftsættelse og optimering.

Ydeevnen af anlægget er testet i flere scenarier, hvoraf der uden for den primære driftssæson med fordel kan driftsoptimeres yderligere. Konkrete tiltag, som interaktion med smart grid/spotprismarkedet for el, forventes at kunne øge de økonomiske fordele af PVCC-anlægget ved at udnytte kapaciteten i is-banken til at skubbe elforbruget til tidspunkter med lavere elpriser. En sådan optimering er pt. ikke implementeret.

Anlæggets primære komponenter, varmepumpe og is-bank er testet mht. ydeevne. Varmepumpens statiske køle-COP er målt til 3,2 i varmepumpens lavlastområde. I varmepumpens primære driftsområde er køle-COP over 3, mens den falder til 2 ved maksimal last.

Den dynamisk COP-test viser, at varmepumpen kan lastreguleres op til 0,6 % i sekundet uden væsentlig forringelse af COP-værdien, mens lasten kan sænkes næsten momentant.

Anlæggets samlede gennemsnitlige COP-værdi er over hele testperioden målt til 2,13, mens den i juni måned blev målt til 3,77. I den forbindelse er det væsentligt at bemærke, at den forbrugte elektricitet udelukkende kommer fra solcelledrift.

Ved kommerciel afsættelse af PVCC vurderes det, at instrumentering kan begrænses til måling på grid-effekten. Kompensering for is-bank og varmepumpe ikke-lineære fænomener kan etableres med yderligere instrumentering. Anlæggets ydeevne og mulighed for tilbagebetaling vurderes på baggrund af testrapporten at være størst i geografiske områder med mere kontinuerlig solindstråling og dermed også et større kølebehov. Omvendt har anlægget vist sig egnet til formålet og kan give en stor grad af energifleksibilitet, som kan anvendes som energibuffer i regi af smart grid.

Den udarbejdede testrapport er vedlagt i Bilag 03 og konkluderer således, at det udviklede anlæg i hovedtræk egner sig til formålet, samt at der er yderligere potentiale for performance- og kostoptimering ved et kommercielt anlæg. Det solcelledrevne komfortkølingsanlæg er således i sin helhed valideret.

1.5.7 Evaluering (WP7)

Den afsluttende arbejdsplan i projektet havde til formål at sikre evaluering af det gennemførte projekt; dels en evaluering af processen og teknologidemonstrationen men også en evaluering af projektets kommercielle værdi.

1.5.7.1 Processen

Gennem arbejdet med alle arbejdsplaner er der løbende foretaget risikovurderinger, og styregruppen har formålet at minimere betydningen af flere uforudsete udfordringer. Procesmæssigt er alle arbejdsplaner startet gennem tværfaglige workshops, hvilket har givet god motivation og gode resultater.

Retrospektivt har fremdriften i projektet været tydeligst i den indledende og eksplorative fase af projektet, mens den afsluttende fase har været præget af ændrede kommercielle interesser hos flere i partnerskabet. Installation og integration af komponenter er forløbet planmæssigt, da partnerskabet var endeligt på plads, og delresultaterne klar til implementering. Ansvar for udvikling af kontrolsystem, idriftsættelse og test blev omplaceret grundet ændret forretningsmæssigt fokus hos den oprindeligt udførende part. Dette gav en mere forskningsmæssig og metodeorienteret tilgang til kontrolsystemet end planlagt, da simuleringer kunne genanvendes ved brug af en agil modelbaseret tilgang til udvikling og test af kontrolsystemet.

Den bagvedliggende årsag til flere af de uforudsete udfordringer vurderes at ligge i et tidsmæssigt langtrukket projektføreløb, hvor udskiftningen af demonstrator site i partnerskabet fyldte meget.

Anvendelsen af en leveranceorienteret proces fungerede rigtig godt i partnerskabet, hvor FAT og integrationstest medførte en nærmest gnidningsløs teknologiintegration og idriftsættelse. Generelt er opfattelsen hos partnerskabet, at projektet er gennemført med et tilfredsstillende resultat, og at processen omkring samarbejde og vidensdeling i projektet har været god.

1.5.7.2 Teknologidemonstration

I projektet demonstreres potentialet i samspillet mellem varmepumpeteknologi, solcelleteknologi samt kontrol- og styringsteknologi. Teknologidemonstrationen har således frembragt et solcelledrevet komfortkølingsanlæg, hvor samspillet mellem de anvendte teknologier i projektet og det udviklede komfortkølingsanlæg er demonstreret i praksis - hvilket i sig selv giver et godt udgangspunkt for en evaluering.

Projektet er realiseret gennem kombination af flere velkendte teknologier i partnerskabet, hvilket har givet et solidt fagligt fundament. De anvendte komponenter er nøje udvalgt for at sikre god integration mellem komponenterne og den overordnede styring og regulering af anlægget.

Hver teknologi i projektet har været fagligt forankret hos én partner i projektet, hvilket har givet en synlig ansvarsfordeling mellem partnerne. Gennem fælles workshops har fokus været på at fastlægge interfaces mellem komponenter og at sikre, at alle tværgående krav kunne opfyldes.

Den modelbaserede tilgang til både estimering af kølebehov, dimensionering og valg af komponenter og udvikling af kontrolsystem viste sig at være et godt valg. Konkret er kølebehovet estimeret for 4 potentielle demonstrator sites og komponentdimensionering, og systemsimulering er foretaget på 2 demonstrator sites. Endeligt er anlægget installeret og testet i samspil med kontrolsystem og eksisterende CTS på den endelige demonstrator site hos Spar Nord Bank i Hadsund.

Solcelledrevet komfortkøling som fungerende teknologi er demonstreret med det udviklede anlæg.

1.5.7.3 Kommerciel værdi

Den kommercielle værdi af anlægget er isoleret set ikke så stor som forventet. Danske vejrforhold og en kort sæson for komfortkøling gør tilbagebetalingstiden lang – selv med afgiftsfritagelse for den elektricitet, der forbruges af producenten. Det udelukkes ikke, at der kan findes andre segmenter, hvor kølebehovet er så stort, at det giver mere kommerciel værdi at

kombinere de anvendte teknologier. Med afsæt i den udarbejdede markedsanalyse er der foretaget kvantitative interviews, hvor flere af de afspurgte interessenter viste interesse for konceptet; se hovedkonklusionerne i Bilag 02. Men ser vi udelukkende på komfortkøling, er Danmark ikke et optimalt marked. Den kommercielle værdi vil være større under mere sydlige himmelstrøg, hvor kølebehovet er mere kontinuerligt i takt med et højere antal soltimer.

Den kommercielle værdi af projektet i sin helhed er mere besværlig at evaluere, idet der ikke i projektet er udført konkrete analyser. Alligevel vurderes projektet at have en kommerciel værdi. Resultater frembragt i projektet er relativt lette at overføre til andre markeder både i Danmark og udlandet, selvom præmissen for den kommercielle anvendelse kan være en helt anden. F.eks. er hverken kølebehov eller afgiftsregler undersøgt for andre segmenter end komfortkøling i projektet.

1.6 Utilization of project results

Partnerne i konsortiet forventer at kommercialisere og anvende projektets resultater på forskellige måder.

1.6.1 *Eniig Energi A/S, tidl. Energinord A/S (Eniig Energi)*

Som følge af fusionering og ændret strategisk fokus siden dette projekts initiering forventes det kommercielle potentiale for Eniig Energi ikke at blive indfriet. Der figurerer ikke salg af vedvarende energiløsninger i Eniig Energi, hvorfor et potentielt produkt ikke vil have et strategisk fit på nuværende tidspunkt. Derfor vil Eniig Energi ikke have kommerciel interesse i en evt. videreudvikling.

Det skal dog understreges, at Eniig Energi ser et kommercielt potentiale i teknologien, der kan videreudvikles i forskellige retninger til forskellige markeder.

1.6.2 *Dansk Varmepumpe Industri A/S (DVI)*

DVI har som udgangspunkt en kommerciel interesse i projektet. Projektet inkluderer to af DVI's kerneprodukter; varmepumpe og is-bank, hvorfor indtjeningspotentialer er fornuftigt. En kommercialisering og pakketering af løsningen vurderes at skabe konkurrencefordele for DVI. Ud fra markedsundersøgelserne er der flere interessante segmenter, der kan fokuseres på i en konkret go to market-strategi. Denne tilstræbes at udarbejde på sigt, såfremt ressourcer og aktiviteter i DVI tillader det.

1.6.3 *Gaia Solar A/S (Gaia Solar)*

Gaia Solar forventer et øget projektsalg som følge af en evt. videreførelse af projektets resultater i partnerskab med øvrige komponentleverandører. Konceptet inkluderer produkter, som kan leveres af Gaia Solar, hvorfor det vurderes at have et indtjeningspotentiale at indgå som partner i en kommercialisering af projektets resultater.

Endvidere forventer Gaia Solar, at den etablerede viden kan anvendes i kommunikation og dialog med specielt bygherrer og rådgivere, som overvejer at integrere solceller i deres byggeprojekter og på den måde medvirke til at styrke projektsalg af bl.a. facadeintegrerede solcelleløsninger.

1.6.4 *Seluxit ApS (Seluxit)*

Seluxit har gennem sin leverance af sensorer og aktuatorer til PVCC-prototypen styrket sine kompetencer og referencer inden for energistyring ved hjælp af IoT-platforme. Projektet har derfor styrket Seluxits markedsposition inden for dette område.

Da PVCC-konceptet er baseret på kombination og udnyttelse af kendt teknologi, er der ikke planer om udtagning af patenter.

1.6.5 Aalborg Universitet

Center for Indlejrede Software Systemer (CISS) har gennem udviklingen af kontrolsystemet til PVCC-prototypen styrket sine muligheder for at være en interessant samarbejdspartner i fremtidige energistyringsprojekter. Endvidere forventes resultaterne direkte at kunne anvendes i både EU Horizon 2020-projektet MANTIS (<http://www.mantis-project.eu/>), der bl.a. omhandler vedligeholdelse af energisystemer samt i det nationale forskningscenter DiCyPS (<http://www.dicyps.dk/>), som bl.a. omhandler integration af energisystemer for bygninger med el- og fjernvarmesystemer.

Da PVCC-konceptet er baseret på kombination og udnyttelse af kendt teknologi, er der ikke planer om udtagning af patenter.

1.6.6 Spar Nord Bank A/S (Spar Nord Bank)

Spar Nord Bank fortsætter drift af anlægget og har indgået en serviceaftale med DVI. Endvidere evalueres projektet internt for at skabe basis for anvendelse af denne eller lignende energiløsninger i øvrige filialer, såfremt det viser sig rentabelt. Spar Nord Bank vurderer PVCC-konceptet positivt for den grønne profil.

1.7 Project conclusion and perspective

1.7.1 Konklusion

Det konkluderes på baggrund af demonstrationsprojektet, at partnerskabet har påvist det muligt at drive et køleanlæg uafhængigt af elnettet ved brug af en is-bank som lagermedie for energi. En påvisning, som er et skridt i den rigtige retning i forhold til at begrænse negative konsekvenser af den øgede mængde fluktuerende elproduktion fra vedvarende energikilder som solceller og vindmøller. Tænkes projektet videre til infrastrukturniveau giver teknologien mulighed for energilagring af kulde med vand/is som lagringsmedie – tilsvarende elektriske batterier samt varmebuffertanke og damlagre.

Selvom projektet er gennemført med gode tekniske resultater, er konklusionen på det udviklede demonstratoranlæg isoleret set, at der med de danske vejrforhold ikke er grobund for en kommerciel forretning i løsningen med de nuværende – ellers for konceptet lempede – afgiftsregler på elektricitet.

I takt med at smart grid-teknologien udvikles, og afgiftssystemet evt. tilpasses et politisk ønske om grøn omstilling, vil det over tid kunne give mulighed for, at den altid afgørende økonomi vil blive attraktiv i forhold til konventionelle teknologier. På baggrund af den viden, der er etableret og de teknologier, der i projektet er demonstreret, konkluderes det, at et optimalt marked for solcelledrevet komfortkøling kan kendetegnes ved

1. Høj elpris inkl. afgift for konventionelt produceret elektricitet
2. Stort kølebehov som resultat af solindstråling
3. Stor solindstråling (høj årsproduktion fra solceller i perioder med kølebehov)
4. Politisk klimafokus med reelle tiltag til følge

Det kan tillige konkluderes, at der i projektet er skabt et teknologisk fundament med demonstration i praksis for at løfte opgaven et skridt videre, såfremt der viser sig en kommerciel mulighed enten i Danmark eller uden for landets grænser.

Annex

Bilag 01	Markedsundersøgelse
Bilag 02	Interviews
Bilag 03	Testrapport
Bilag 04	PI-diagram
Bilag 05	Bruger-feedback fra demonstrator
Bilag 06	Bindende svar fra SKAT
Bilag 07	Artikel, Jyllands-Posten
Bilag 08	Avisannonce, Nordjyske Stiftstidende
Bilag 09	PVCC-paper
Bilag 10	Billeder

Links

House of Energy - <http://house-of-energy.dk/wp-content/uploads/2016/06/DVI.pdf>

TotalFlex - http://www.ienergi.dk/nyheder/2016/16-11-29_smaa_elkunders_fleksibilitet